

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-287922

(43)Date of publication of application : 19.10.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/255

(21)Application number : 10-089034

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 01.04.1998

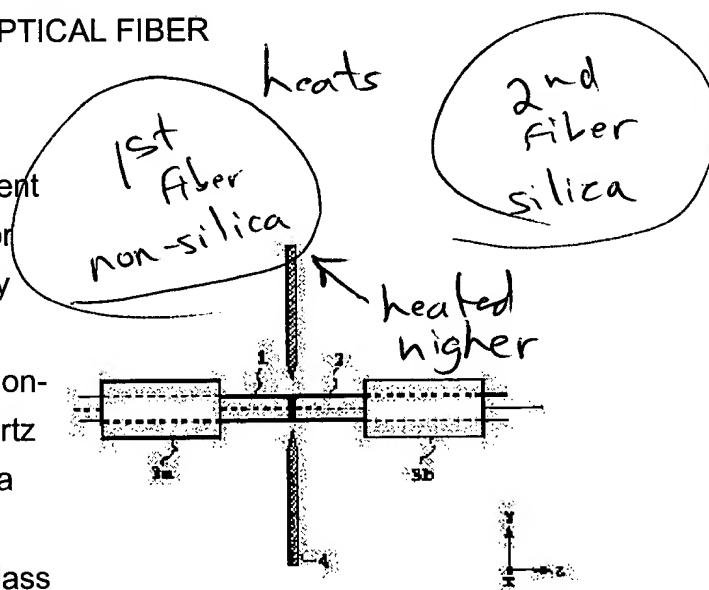
(72)Inventor : FUJIURA KAZUO
YAMADA MAKOTO
OIKAWA KIRYO
MORI ATSUSHI
ONO HIROTAKA
SHIMADA TOSHIYUKI
NISHIDA YOSHITAKE
OISHI YASUTAKE

(54) METHOD AND DEVICE FOR CONNECTING OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To connect first and second optical fibers respectively composed of different glass materials through fusion splicing by softening or melting the connection end section of the first fiber by heating.

SOLUTION: The optical axes of a first optical fiber (non-quartz optical fiber) 1 and a second optical fiber (quartz optical fiber) 2 are aligned so as to be coincident on a connection end face. As the non-quartz optical fiber, there are tellurite glass optical fiber and Zr fluoride glass fiber or the like. Discharging occurs between electrodes 4 for arc discharge, the optical fiber 2 is made closer to the tellurite glass optical fiber 1 during discharging and a distance between terminal parts is turned to '0'. Only the terminal part of the optical fiber 1 can be made molten by heating due to arc discharging and



this end face is connected in contact with the end face of the optical fiber 2. As a method for heating the terminal part of the optical fiber, a heating method due to laser beam incidence or high frequency induction in addition to the arc discharge is used.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-287922

(43)公開日 平成11年(1999)10月19日

(51)IntCl.⁶

G 0 2 B 6/255

識別記号

F I

G 0 2 B 6/24

3 0 1

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平10-89034

(22)出願日 平成10年(1998)4月1日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 藤浦 和夫

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 山田 誠

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 及川 喜良

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

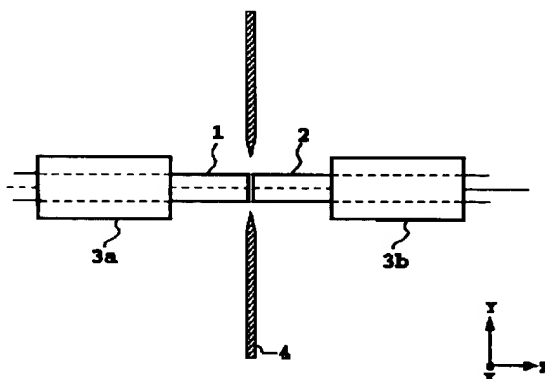
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光ファイバの接続方法ならびに接続装置

(57)【要約】

【課題】 非石英系光ファイバと石英系光ファイバとを融着により接続し、信頼性の高いファイバ接続を達成する。

【解決手段】 非石英系光ファイバの光軸と石英系光ファイバの光軸とが接続端面で一致するように調芯された状態で、非石英系光ファイバおよび石英系光ファイバのうち少なくとも一方の光ファイバの接続端部分を加熱することにより2本の光ファイバを融着接続する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一方が非石英系光ファイバである2本の光ファイバを接続する方法において、前記非石英系光ファイバである第1のファイバの光軸と該第1のファイバと異なるガラスからなる第2のファイバの光軸とが接続端面で一致するように調芯された状態で、2本の光ファイバの接続端部分のうち少なくとも前記第1のファイバの接続端部分を加熱することにより第1のファイバの接続端部分を軟化または溶融させて2本の光ファイバを融着接続することを特徴とする光ファイバの接続方法。

【請求項2】 前記第2のファイバの接続端部分が軟化または溶融されていない状態で2本の光ファイバを融着接続することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの接続方法。

【請求項3】 前記光ファイバの接続端部分の加熱温度が前記非石英系光ファイバを構成するガラスのうち最も低いガラス転移温度以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバの接続方法。

【請求項4】 前記非石英系光ファイバがテルライトガラスファイバ、Zr系フッ化物ガラスファイバ、In系フッ化物ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバからなる群から選ばれる1種からなることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項5】 前記第1のファイバの光軸および前記第2のファイバの光軸を接続端面の垂直軸に対して、それぞれ異なる角度で傾斜させ、かつ第1のファイバの光軸の接続端面の垂直軸に対する傾き角度 θ_1 と第2のファイバの光軸の接続端面の垂直軸に対する傾き角度 θ_2 の関係が、第1のファイバのコア屈折率を n_1 、第2のファイバのコア屈折率を n_2 としたとき、

【数1】 $(\sin \theta_1) / (\sin \theta_2) = n_2 / n_1$
 のスネルの法則を $\pm 10\%$ の範囲内で満たすように接続することを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項6】 前記光ファイバの接続端部分の加熱がアーク放電によってなされることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項7】 前記光ファイバの接続端部分の加熱がレーザ光入射によってなされることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項8】 前記レーザ光入射が炭酸ガスレーザによってなされることを特徴とする請求項7に記載の光ファイバの接続方法。

【請求項9】 前記光ファイバの接続端部分の加熱が高周波誘導加熱によってなされることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項10】 前記光ファイバの接続端部分の加熱が光ファイバ接続端部分近傍に設置された抵抗体の通電加

熱によってなされることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項11】 前記第1のファイバと前記第2のファイバとを調芯した後、光ファイバ端部を加熱する際の光ファイバ端間の距離が $0 \sim 10 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1から10のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項12】 前記光ファイバ端間の距離が0である場合、光ファイバ端間に 10g 以下の押し付け加重を光ファイバの軸方向に加えることを特徴とする請求項11に記載の光ファイバの接続方法。

【請求項13】 前記第1のファイバと前記第2のファイバとを調芯してから2本の光ファイバの接続端部分のうち少なくとも第1のファイバの接続端部分を加熱しつつあるいは加熱した後、光ファイバ間の距離を変化させることを特徴とする請求項1から12のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項14】 前記第1のファイバと前記第2のファイバとの接続部の周囲が、光ファイバの光軸に沿ってガラス、無機結晶材料、高分子材料、金属からなる群から選ばれる少なくとも1つの材料からなる部材によって補強されることを特徴とする請求項1から13のいずれかに記載の光ファイバの接続方法。

【請求項15】 非石英系光ファイバである第1のファイバと第1のファイバと異なるガラスからなる第2のファイバとを接続する装置であって、ガス導入手段と、第1のファイバと第2のファイバとの光軸が接続端面で一致するように調芯する手段と、前記第1のファイバおよび前記第2のファイバのうち少なくとも第1のファイバの接続端部分を加熱する手段、とを具備することを特徴とする光ファイバの接続装置。

【請求項16】 前記調芯する手段が、第1のファイバの光軸と該第1のファイバの接続端面の垂直軸とを含む平面と、第2のファイバの光軸と該第2のファイバの接続端面の垂直軸とを含む平面とが一致するように、第1のファイバを固定する第1のファイバホルダーと第2のファイバを固定する第2のファイバホルダーを回転させる回転機構および該第2のファイバホルダーを三次元的に平行移動させる移動機構を有し、かつ第1のファイバの接続端面と第2のファイバの接続端面とを平行にするためにいずれかの光ファイバに対して光ファイバ端面の中心を回転中心として平面的に回転する回転機構を具備することを特徴とする請求項15に記載の光ファイバの接続装置。

【請求項17】 前記ガス導入手段が、ガスの導入口を備えていて、前記第1のファイバおよび第2のファイバの端部が設置される部分を所定雰囲気保つために該ガスの導入口から乾燥ガスを導入することを特徴とする請求項15または16に記載の光ファイバの接続装置。

【請求項18】 光ファイバ接続装置が、さらに光ファ

イバを固定するファイバホルダーの少なくとも1つに光ファイバに与えられる加重を検出するための検出機構を具備することを特徴とする請求項15から17のいずれかに記載の光ファイバの接続装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ増幅器に使用される増幅媒体である光ファイバと石英系ファイバとの接続、波長変換等の光制御機能を有する光ファイバと石英系光ファイバとの接続等の異なるガラス材料からなる2本の光ファイバの接続方法および光ファイバの接続装置に関する。

【0002】

【従来の技術】テルライトガラス、Zr系フッ化物ガラス、In系フッ化物ガラス、カルコゲナイドガラスを用いた光ファイバは、コアにPrイオンを添加することにより、石英ガラスでは実現できない1.3μm帯の光増幅を可能にし、かつErイオンを添加した場合にも石英ガラスでは実現できない1.55μm帯での広帯域増幅を可能とすることが知られている。さらに、テルライトガラスおよびカルコゲナイドガラスはその大きい3次の非線形効果により高速光スイッチなどの材料として以前から注目されており、波長変換デバイスは超高速光スイッチなど、光通信分野における高機能材料として注目されている。

【0003】上記光ファイバを通信部品として使用するためには、この光ファイバを伝送媒体である石英系光ファイバ等と低損失で接続する必要がある。光ファイバを接続する方法には、V溝ブロックあるいはフェルールにファイバを固定し、その端面を研磨した後光軸を調芯し、その端面間に接着剤を充填して固定する方法、あるいはコネクタ等で機械的に接続する方法が知られている。上記のV溝ブロックやフェルールを使用する接続方法では、V溝ブロックやフェルールにファイバを固定する工程に加えそのファイバ接続端面を研磨する工程が必要になる。V溝ブロックやフェルールを構成する材料、接続用接着剤、ファイバ材料の機械的特性が異なるため、ファイバ接続端面の研磨によりファイバの端面からの飛び出しや落ち込みが生じる。これが接続の際、ファイバ端面間隔の制御の障害となり接続損失の増加やばらつきの原因となる。このため通常のV溝ブロックやフェルールを使用する接続方法では、接続損失が0.3~1dBで、接続ごとにばらつきを示すことが知られている。また、光増幅や非線形光学効果を利用したデバイスではその効率を高めることができる限りコア中心部の光電界強度を高くする必要がある。接着剤を使用する接続では、この高い光電界強度により接着剤の変質が起こり、長期の使用で接続損失が増加したり、あるいは断線する。さらに、ファイバのコア・クラッドの屈折率差は通常の伝送用ファイバに比べて大きく、そのコア径も2

μm前後と極めて小さい。このため、ファイバの軸ずれに対する接続損失の変化量は大きく、室温からの温度の変動により接続損失も変化する。これは、上記接続方法では数種の材料の複合体として接続されるので、温度変化による個々の材料の膨張収縮が様々であり、光軸のずれを生じるからである。上記の接続方法では-40~+75℃の温度変化に対し、接続損失は約±0.5dB程度変動し、使用環境での温度変動に従ってデバイスの特性が変動するという問題があった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記問題点を解決すべくなされたものであり、本発明の目的は異なるガラス材料からなる光ファイバを融着により接続する方法ならびにその装置を提案することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の光ファイバの接続する方法の発明は、少なくとも一方が非石英系光ファイバである2本の光ファイバを接続する方法であって、非石英系光ファイバである第1のファイバの光軸と第1のファイバと異なるガラスからなる第2のファイバの光軸とが接続端面で一致するように調芯された状態で、2本の光ファイバの接続端部分のうち少なくとも第1のファイバの接続端部分を加熱することにより第1のファイバの接続端部分を軟化または溶融させて2本の光ファイバを融着接続することを特徴とする。

【0006】ここで、第2の光ファイバの接続端部分が軟化または溶融されていない状態で2本の光ファイバを融着接続することができる。

【0007】また、光ファイバの接続端部分の加熱温度は非石英系光ファイバを構成するガラスのうち最も低いガラス転移温度以上であることができる。

【0008】また、非石英系光ファイバはテルライトガラスファイバ、Zr系フッ化物ガラスファイバ、In系フッ化物ガラスファイバ、カルコゲナイドガラスファイバからなる群から選ばれる1種からなることができる。

【0009】また、第1のファイバの光軸および第2のファイバの光軸を接続端面の垂直軸に対して、それぞれ異なる角度で傾斜させ、かつ第1のファイバの光軸の接続端面の垂直軸に対する傾き角度 θ_1 と第2のファイバの光軸の接続端面の垂直軸に対する傾き角度 θ_2 の関係が、第1のファイバのコア屈折率を n_1 、第2のファイバのコア屈折率を n_2 としたとき、

【0010】

【数2】 $(\sin \theta_1) / (\sin \theta_2) = n_2 / n_1$
のスネルの法則を±10%の範囲内で満たすように接続することができる。

【0011】また、光ファイバ接続端部分の加熱がアーク放電によってなされることができる。

【0012】また、光ファイバ接続端部分の加熱がレーザー光入射によってなされることができる。

【0013】ここで、レーザ光入射が炭酸ガスレーザによってなされることができる。

【0014】また、光ファイバ接続端部分の加熱が高周波誘導加熱によってなされることができる。

【0015】また、光ファイバ接続端部分の加熱が光ファイバの接続端部分近傍に設置された抵抗体の通電加熱によってなされることができる。

【0016】また、第1のファイバと第2のファイバとを調芯した後、光ファイバの接続端部分を加熱する際の光ファイバ端間の距離が0~10 μ mであることができる。

【0017】また、光ファイバ端間の距離が0である場合、光ファイバ端間に10g以下の押し付け加重を光ファイバの軸方向に加えることができる。

【0018】また、第1のファイバと第2のファイバとを調芯してから第1のファイバおよび第2のファイバのうち少なくとも第1のファイバの接続端部分を加熱しつつあるいは加熱した後、光ファイバ端間の距離を変化させることができる。

【0019】また、第1のファイバと第2のファイバとの接続部の周囲が、光ファイバの光軸に沿ってガラス、無機結晶材料、高分子材料、金属からなる群から選ばれる少なくとも1つの材料からなる部材によって補強されることができる。

【0020】本発明の光ファイバ接続装置の発明は、非石英系光ファイバである第1のファイバと第1のファイバと異なるガラスからなる第2のファイバとを接続する装置であって、ガス導入手段と、第1のファイバと第2のファイバとの光軸が接続端面で一致するように調芯する手段と、第1のファイバおよび第2のファイバのうち少なくとも第1のファイバの接続端部分を加熱する手段、とを具備することを特徴とする。

【0021】ここで、調芯する手段が、第1のファイバの光軸と第1のファイバの接続端面の垂直軸とを含む平面と、第2のファイバの光軸と第2のファイバの接続端面の垂直軸とを含む平面とが一致するように、第1のファイバを固定する第1のファイバホルダーと第2のファイバを固定する第2のファイバホルダーを回転させる回転機構および該第2のファイバホルダーを三次元的に平行移動させる移動機構を有し、かつ第1のファイバの接続端面と第2のファイバの接続端面とを平行にするためにいずれかの光ファイバに対して光ファイバ端面の中心を回転中心として平面的に回転する回転機構を具備することができる。

【0022】ここで、ガス導入手段が、ガスの導入口を備えていて、第1のファイバおよび第2のファイバの端部が設置される部分を所定雰囲気を保つために該ガスの導入口から乾燥ガスを導入することができる。

【0023】また、本発明の光ファイバ接続装置は、さらに光ファイバを固定するファイバホルダーの少なくと

も1つに光ファイバに与えられる加重を検出するための検出機構を具備することができる。

【0024】

【発明の実施の形態】本発明では、2本の光ファイバ（第1のファイバ、第2のファイバ）の光軸を調芯した後、加熱により少なくとも一方の光ファイバの端部を軟化させて2本の光ファイバを接続する。非石英系光ファイバを第1のファイバ、石英系光ファイバを第2のファイバとすると、第1のファイバと第2のファイバの光軸を接続端面で一致するように調芯した後、加熱により少なくとも第1のファイバ（非石英系光ファイバ）の端部を軟化させて第2のファイバの端部に接続する。

【0025】ここで、非石英系光ファイバとしては、テルライトガラス光ファイバ、Zr系フッ化物ガラスファイバ、In系フッ化物ガラス光ファイバ、カルコゲナイドガラスファイバ等が挙げられる。なお、これらのファイバはEr、Pr、Tm、Ho、Yb、Tb、Nd、Eu等が添加されていてもよい。

【0026】非石英系光ファイバおよび石英系光ファイバは、1種類の材料からなるガラスで形成されていてもよいが、複数種類の材料からなるガラスで形成されていてもよい。かかる場合には、光ファイバの接続端部分を加熱して溶融するにはガラスを構成する材料のうちガラス転移温度の最も低い材料のガラス転移温度以上の温度で加熱することが好ましい。

【0027】光ファイバ端部の加熱方法としては、アーク放電、レーザ光入射、高周波誘導、光ファイバの接続端部分近傍に設置された抵抗体の通電などにより加熱する方法が用いられる。レーザ光入射による加熱には、石英系光ファイバを透過する発振波長のレーザが好ましく用いられ、例えば炭酸ガスレーザ、Ybファイバレーザ等が挙げられる。高周波誘導加熱においては、高周波コイル等をファイバ接続部周囲に設置して用いることができ、抵抗体の通電による加熱においてはカンタル線等の抵抗体を接続部近傍に設置することによる抵抗加熱等が用いられる。

【0028】本発明において、加熱する際の2本の光ファイバの接続端間の距離は、0~20 μ mであることが好ましく、さらに0~10 μ mであることが特に好ましい。ただし、2本の光ファイバの接続端間の距離が0 μ mである場合には、2本の光ファイバ間に0~10gの押し付け加重をファイバの軸方向に加えることが好ましい。なお、2本の光ファイバの接続端間の距離は光軸を調芯した後で接続端部分を軟化させる前に調整することもできるが、光ファイバの接続端部分を加熱しつつあるいは加熱した後調整することもできる。

【0029】本発明において、2本の光ファイバの接続はスネルの法則を満たす関係にあることが特に好ましい。以下に具体的に説明する。

【0030】非石英系光ファイバと石英系光ファイバと

を接続する場合、両者でコアの屈折率が異なるので低損失・低反射の接続を実現するには接続界面における伝搬光の光の反射等を考慮する必要がある。図1(a)に示すようにファイバの接続界面104が光軸に垂直となる接続では、接続する2本のファイバのコアの屈折率の差によってフレネル反射が生じこれが反射戻り光103となる。例えば、コア屈折率が大きいテルライトガラスファイバ(コア屈折率約2.1)とコア屈折率が小さい石英系ファイバ(コア屈折率約1.5)の接続の場合、反射減衰量は16dBとなる。一方、図1(b)に示すように接続界面104を光軸に対して斜めにすれば、接続界面での反射光はコア外に放射され戻り光となることはないので反射減衰量は向上する。しかし、接続界面を透過する光は接続界面で屈折するので光軸方向からずれた方向に伝搬し、非石英系光ファイバから石英系光ファイバへの透過特性は劣化する。ところが、図1(c)に示すように非石英系光ファイバと石英系光ファイバの光軸*

$$(\sin \theta_1) / (\sin \theta_2) = n_2 / n_1$$

のスネルの法則を満たすように接続する。ここで傾き角度 θ_1 と θ_2 は所望の組み合わせを選ぶことができるが、可能な限り大きな値の組み合わせとすることにより反射減衰量を大きくすることができる。

【0033】ただし、実際には光ファイバのコアの等価屈折率に影響されるので、 $(\sin \theta_1) / (\sin \theta_2)$ の値は必ずしも厳密には n_2 / n_1 と一致せず、実用的には、 $(\sin \theta_1) / (\sin \theta_2)$ の値は n_2 / n_1 の $\pm 10\%$ の範囲内であればよい。ただし、その値は $\pm 2\%$ の範囲内であることが好ましい。

【0034】本発明においては、ガス導入手段と、2本の光ファイバの接続を第1のファイバの光軸と第2のファイバの光軸が接続端面で一致するように調芯する手段と、少なくとも一方の光ファイバ端面を加熱する手段とを具備する接続装置を用いて接続することができる。ただし、調芯手段は、一方の光ファイバの光軸と該光ファイバの接続端面の垂直軸とを含む平面と、他方の光ファイバの光軸と該光ファイバの接続端面の垂直軸とを含む平面とが一致するように、一方の光ファイバを固定する第1のファイバホルダーと他方の光ファイバを固定する第2のファイバホルダーを回転させる回転機構および該第2のファイバホルダーを三次元的に平行移動させる移動機構を有し、かつ一方の光ファイバの接続端面と他方の光ファイバの接続端面とを平行にするために、いずれかの光ファイバに対して光ファイバ端面の中央を回転中心として平面的に回転する回転機構を有する。

【0035】ガス導入口から装置内にガスが導入されて、ガス雰囲気下で2本の光ファイバの接続が行われる。充填されるガスとしては、乾燥窒素ガス等が挙げられる。例えば、接続されるファイバがフッ化物光ファイバである場合には、このような接続装置内の雰囲気制御は重要なものとなる。本発明に好ましく用いられる接続※50

*が接続端面104の垂直軸に対してスネルの法則を満たすように所定角度傾斜させて接続すると低損失・低反射の接続が実現できる。すなわち、非石英系ファイバを伝搬して接続界面へ入射した光101は、屈折した透過光102が石英系光ファイバの光軸方向に伝搬し、かつ反射した戻り光103がコア外に放射されることとなるので低損失・低反射の接続を実現することができる。

【0031】例えば、非石英系光ファイバ(第1のファイバ)の光軸および石英系光ファイバ(第2のファイバ)の光軸が光ファイバの接続端面の垂直軸(以下「垂直軸」という)に対して、それぞれ異なる角度で傾斜しており、第1のファイバの光軸の垂直軸に対する傾き角度 θ_1 と第2のファイバの光軸の垂直軸に対する傾き角度 θ_2 の関係が、第1の光ファイバのコア屈折率を n_1 、第2の光ファイバコア屈折率を n_2 としたとき、

【0032】

【数3】

(1)

※装置を図2を用いて具体例に説明する。図2は、本発明の装置の概念を示した平面図である。

【0036】図2において、1は第1のファイバを、2は第2のファイバを示し、3aは第1のファイバを保持する第1のファイバホルダーを、3bは第2のファイバを保持する第2のファイバホルダーを示す。第1のファイバホルダーは光ファイバの光軸が図2中のZ軸と一致するように設定されており、Z軸に対して矢印6で示すように回転できる回転機構を有する。第2のファイバホルダーは、X軸、Y軸、Z軸に沿って平行移動できる移動機構、第2のファイバの光軸に対して矢印6'で示すように回転できる回転機構、および第2のファイバの接続端面の中央を回転中心として矢印7で示すようにYZ平面内を回転できる回転機構を有する。また、4はアーク放電用の電極であり、ファイバ接続端面部分を加熱できるように設置されている。本発明においてはアーク放電の代わりにレーザー光入射等による加熱でもよいが、その場合には、かかる加熱手段が適宜置き換えられる。5はガス導入口である。

【0037】なお、ファイバ接続部の垂直上方には、接続部を観察するためのカメラ等が設置されている。

【0038】本発明の接続装置は、少なくとも一方のファイバホルダー3a、3bにファイバに与えられる加重を検出する機構、例えばロードセルをさらに有することが好ましい。本発明においては、2本のファイバの接続部分を、ファイバの光軸に沿って周囲に、ガラス、無機結晶材料、高分子材料、金属等の材料からなる部材で補強することが好ましい。ただし、補強部材は上記の1種類のみならず2種類以上の材料からなってもよい。

【0039】本発明の接続方法によれば、V溝やフェールなどの異種材料に固定する必要がないため、組立や研磨の工程を省略することができる。さらに、ファイバ

の接続端面が密着しているため接続損失を低減することができ、かつ温度変動に対する損失変動を低減することができる。この接続によれば、接着剤などの有機材料が光の導波する部分に存在しないため、高い光入力に対しても長期的に接続損失の増加がないという利点もある。加えて、本発明の接続装置を用いることにより、簡便に非石英系光ファイバと石英系光ファイバの接続が可能であり、従来の通信用石英系ファイバと同様に非石英系ファイバを利用可能とする利点がある。

【0040】以下、実施例により本発明を詳細に説明するが、以下に開示する実施例は本発明の例示に過ぎず、本発明の範囲を何等限定するものではない。

【0041】(実施例1) 第1のファイバとしてErを添加したテルライトガラス光ファイバ(ガラス系は TeO_2 - ZnO - Na_2O 、コア屈折率は2.1、モードフィールド径は $5\mu\text{m}$ 、Er添加濃度は4000ppm、ファイバの被覆はUV樹脂)を、第2のファイバとして石英系光ファイバ(コア屈折率は1.5、モードフィールド径は $5\mu\text{m}$ 、被覆はUV樹脂)を用いた。接続の概略を図3に示す。図3中、1は第1のファイバとしてのテルライトガラス光ファイバ、2は第2のファイバとしての石英系光ファイバ、3aは第1のファイバホルダー、3bは第2のファイバホルダー、4はアーク放電用の電極である。接続部周辺の雰囲気は乾燥窒素ガスとした。2本の光ファイバ1、2の接続端間の間隔は約 $1\mu\text{m}$ である。テルライトガラス光ファイバに入射した波長 $1.3\mu\text{m}$ のレーザ光を石英系光ファイバの終端で検知し、その強度が最高になるように石英系光ファイバをXY平面内で移動させて調芯した。その後、アーク放電用の電極間で放電を起こし、放電中に石英系光ファイバをテルライトガラス光ファイバに近づけて端部間の距離を0とした。アーク放電による加熱でテルライトガラス光ファイバの端部のみが溶融状態となり、この端面を石英系光ファイバの端面に接触させて接続した。

【0042】接続損失をEr添加テルライトガラス光ファイバのErの吸収のない $1.3\mu\text{m}$ で測定した。10個の接続点を直列につなぎ接続損失を評価したところ、接続損失は平均で0.015dBであった(屈折率不整合による反射損を除く)。接続強度を引っ張り試験器で測定したところ、接続強度は250MPaであった。

【0043】ただし、テルライトガラス光ファイバの溶融条件はアーク放電の放電電圧と電極間距離の両方で調整した。少なくともテルライトガラス光ファイバの軟化する温度(最低でもガラス転移温度、 300°C 前後)以上で接続が可能であり、テルライトガラスの液相温度以上に加熱することによって、0.1dB以下の接続損失と150MPaの接続強度が得られた。また、放電時のファイバ端面間隔は0~ $20\mu\text{m}$ の間であれば0.1dB以下の接続損失と150MPaの接続強度を実現することができたが、 $20\mu\text{m}$ より大きいとテルライトガラ

ス光ファイバの先端部が球状になり接続点の接触面積が小さくなり、十分な接着強度が得られず、ファイバコアも変形する傾向にあり、良好な接続が実現できなかった。

【0044】ここではコアにErを添加したテルライトガラス光ファイバを用いたが、Erの代わりに、Pr、Tm、Ho、Yb、Tb、Nd、Euの1種あるいは2種以上を含むファイバでも、またこれらを含まないファイバでも本実施例と同様の接続が可能であった。またこれら希土類イオンを少なくとも1種以上含むZr系フッ化物ガラス光ファイバ、In系フッ化物光ファイバ、カルコゲナイド光ファイバについても同様の接続を行ったところ、同様に良好な接続が可能であった。

【0045】(実施例2) 実施例1において、第1のファイバをZr系フッ化物ガラス光ファイバに代えた以外は実施例1と同様の方法で石英系光ファイバと接続した。ただし、用いたZr系フッ化物ガラス光ファイバは、 ZrF_4 - BaF_2 - LaF_3 - YF_3 - AlF_3 - LiF - NaF 系であり、コアの屈折率は1.55、モードフィールド径 $4\mu\text{m}$ 、UV樹脂を被覆したものである。接続部周辺の雰囲気として乾燥窒素(水分露点 -70°C)を用いた。

【0046】接続損失を $1.3\mu\text{m}$ で測定したところ0.03dBであり、接続強度は120MPaであった。

【0047】なお、接続装置内の雰囲気を水分を含む雰囲気(大気)にしたところ、フッ化物ファイバの端部が結晶化のため失透し、良好な接続を実現することができなかった。

【0048】(実施例3) 実施例1において、第1のファイバをIn系フッ化物ガラス光ファイバに代えた以外は実施例1と同様の方法で石英系光ファイバと接続した。ただし、用いたIn系フッ化物ファイバは、 InF_3 - GaF_3 - LaF_3 - ZnF_2 - PbF_2 - BaF_2 - SrF_2 - YF_3 - NaF 系であり、コアの屈折率は1.65、モードフィールド径 $4.5\mu\text{m}$ 、UV樹脂を被覆したものである。

【0049】接続損失を $1.3\mu\text{m}$ で測定したところ0.035dBであり、接続強度は140MPaであった。実施例2と同様に、接続部周辺の雰囲気を乾燥雰囲気とすることにより良好な接続が実現できた。

【0050】(実施例4) 実施例1において、第1のファイバをAs-S系カルコゲナイドガラスファイバに代えた以外は実施例1と同様の方法で石英系光ファイバと接続した。ただし、用いたコアの屈折率は2.4、モードフィールド径 $3\mu\text{m}$ 、UV樹脂を被覆したものである。

【0051】接続損失を $1.3\mu\text{m}$ で測定したところ0.035dBであり、接続強度は140MPaであった。実施例2と同様に、接続部周辺の雰囲気を乾燥雰

気とすることにより良好な接続が実現できた。

【0052】(実施例5) 実施例1と同様に、第1のファイバとしてテルライトガラス光ファイバを用い、第2のファイバとして石英系光ファイバを用いた。両ファイバの接続端面はファイバクリーパーで光軸に対し90°の角度となるようにカットした後、接続に使用した。接続の際、ファイバ端面間の距離を1μmまで近づけた後、光軸に対して垂直な面(XY平面)でテルライトガラス光ファイバから入射した光が最も効率よく結合する位置に調芯した。その後、石英系光ファイバをその光軸(Z軸)に沿って接近させ、石英系光ファイバをテルライトガラス光ファイバに接触させた後、さらに5gの加重がかかるまで石英系光ファイバをテルライトガラス光ファイバに押し付けた。その後、入射した炭酸ガスレーザがファイバ接続部に集光するように配置したミラーを用い、炭酸ガスレーザによって接続端部を加熱した。加熱によりテルライトガラス光ファイバの端部が溶融し、モニターしている加重が解放されるが、その際、テルライトガラス光ファイバが変形しないよう、加熱と同時にテルライトガラス光ファイバを1μm引き戻した。この操作によりテルライトガラス光ファイバの外形は変化することなくコアの変形を伴わず接続することができた。

【0053】このようにして得られた接続部の接続損失は0.01dBであり、良好な接続を実現することができた。本実施例の方法は、実施例1の方法に比べて、加熱時のテルライトガラス光ファイバ端部の変形による光結合特性の劣化を小さく押さえることができる。しかし、実施例1の方法に比べて、接続に使用するファイバ端面の平滑度が接続損失に大きな影響を与える。したがって、ファイバ端面をカッティングした後ファイバ端面を40 検査して平滑度を確認してからファイバの接続を行うことが望ましい。

【0054】本実施例においてもテルライトガラス光ファイバ端部の加熱温度をガラス転移温度以上とすることによって接続が可能であり、テルライトガラスの液相温度以上に加熱することにより良好な接続強度を得ることができる。

【0055】ファイバ端面に加える押しつけ加重は0〜40g程度まで可能であったが、10g以上の加重ではファイバの保持状況や端面の角度によって、ファイバの位置ずれや端面の破壊が起きた。このため、加重は0〜10gの範囲であることが望ましい。

【0056】第1のファイバを、Zr系フッ化物ガラス光ファイバ、In系フッ化物ガラス光ファイバ、カルコゲナイドガラス光ファイバに代えても同様の接続特性を実現することができた。

【0057】また、ファイバ端部の加熱方法を、アーク放電からレーザ入射、高周波加熱、抵抗体の通電加熱に代えたが、それでも同様の結果を得ることができた。ただし、ファイバへのレーザ入射については、実施例1の

方法に比べ高い入射パワーが必要であった。また、Zr系フッ化物ガラス光ファイバおよびIn系フッ化物ガラス光ファイバの場合には接続部周辺の雰囲気露点を露点-40℃以下の乾燥雰囲気を保つことで良好な接続損失を得ることができた。

【0058】(実施例6) 実施例1と同様に第1のファイバとしてテルライトガラス光ファイバ、第2のファイバとして石英系光ファイバを用い、図2に示す光ファイバ接続装置を用いて光ファイバの接続を行った。テルライトガラス光ファイバの端面をその垂直軸と光軸のなす角度が5.5°となるようにカットし、石英系光ファイバの端面を7.5°となるようにカットした。この接続の状態の概略を図4に示す。図2中、1は第1のファイバとしてのテルライトガラス光ファイバ、2は第2のファイバとしての石英系光ファイバを示す。これらを光ファイバの光軸に対して回転する機構を有する、第1のファイバホルダー3aおよび第2のファイバホルダー3bにそれぞれ固定した。光ファイバ接続部の垂直上方に設置したCCDカメラで観察しつつ、第1のファイバホルダーを矢印6のように回転させて非石英系光ファイバの光軸と垂直軸とを含む平面がYZ平面と平行となるようにした。次いで、石英系光ファイバの光軸と垂直軸とを含む平面がこの平面と平行となるように、第2のファイバホルダーを矢印6'のように回転させた。これによりファイバ端面の接続時の面合わせが可能になる。

【0059】その後、ファイバ端の間隔が5μmでその端面同士が平行になるように、ファイバ端面同士を接近させ、かつ石英系ファイバをその端面の中心を回転中心としてZY平面内を回転させる(矢印7)。これは、ファイバ接続部(アーク放電用電極4、4間の中央部)を中心とする円周上を移動可能な、第2のファイバホルダー3bの回転機能によってなされる。ただし、ファイバ端部の面合わせは、CCDカメラより得た画像情報を解析することにより行う。

【0060】さらにファイバ端間隔を接近させ、石英系光ファイバを端面に平行な面内で第2のファイバホルダー3bをX軸、Y軸、Z軸方向に平行移動させて光ファイバの接続端面で光軸が一致するように調芯した。ただし、この調芯は石英系光ファイバ側から入射した波長1.2μmの半導体レーザ光をテルライトガラスファイバに結合したフォトダイオードで検出し、その出力が最大となるようにして行った。

【0061】その後、ファイバ端同士をさらに接近させ接触させた後、電極4よりアーク放電してファイバの接続端面を加熱し、第1のファイバホルダー3aに設けられたロードセルで光軸方向の加重をモニターしながら、押しつけ加重をかけて接続した。ただし、接続部にはガス導入口5より所定のガスを導入し接続装置内の雰囲気制御することが可能である。

【0062】接続後の損失は0.01dB以下であっ

た。市販の反射減衰量測定装置を用いて1.3 μ mにおける接続点の反射減衰量を測定したところ、テルライトガラス光ファイバ側からと、石英系光ファイバ側からの両方から測定した値が、いずれの場合も装置の測定限界(60dB)以下であった。すなわち、本発明がこのような反射減衰量低減に有効な接続端面角度の異なる光ファイバの接続にも有効であることが示された。

【0063】なお本実施例と同様にして、Zr系フッ化物ガラス光ファイバ、In系フッ化物ガラス光ファイバ、カルコゲナイドガラス光ファイバについても角度の異なるファイバの接続を行ったが、本実施例と同様に低損失で、かつ60dB以下の反射減衰量を有する接続を実現することができた。

【0064】(実施例7) 実施例6において、光ファイバ端面部分の加熱を石英系光ファイバから入射したYbファイバレーザによる加熱に代えた以外は実施例6と同様の方法で光ファイバの接続を行った。実施例6と同様に光ファイバを調芯した後、光ファイバ端の間隔を1 μ mとし、石英側から1Wのレーザ光を入射した。約5秒間の入射の後、レーザ光を遮断した。その結果、テル

ライトガラス光ファイバの端面が溶融し、石英系光ファイバ端面に融着され両ファイバが接続された。

【0065】接続損失は0.01dBであり、反射減衰量は60dB以下であった。この際、用いるレーザは石英系光ファイバを透過する発振波長のレーザであれば同様の接続が可能であった。

【0066】(実施例8) 第1のファイバとしてカルコゲナイドガラス光ファイバを用い、その光軸とファイバ端面の垂直軸とのなす角度が5.5°であった。また、第2のファイバとして石英系光ファイバを用い、その光軸と垂直軸とのなす角度が8°であった。ファイバの保持ならびに調芯は実施例6と同様に行った。ファイバの加熱は高周波誘導加熱により行った。但し高周波誘導加熱用のサセプタとしてMoリングをファイバ接続部周囲に取り巻くように設置し、その外周にコイルを設置した。石英系光ファイバ端面とカルコゲナイド光ファイバ端面の間に、約1gの押しつけ加重をかけ、コイルに高周波電圧を印加し、ファイバに加えた加重がカルコゲナイド光ファイバの溶融により変化し始めた時点で電圧の印加を停止した。同時に、石英系光ファイバを0.1 μ mだけ石英系光ファイバの光軸方法に後退させた。

【0067】接続損失は0.01dB以下であり、カルコゲナイドガラスファイバ側から、および石英系光ファイバ側から測定した反射減衰量はともに装置の測定限界である60dB以下であった。なお、高周波誘導加熱用のコイルの代わりにカンタル線による抵抗加熱を用いても同様の接続を実現することができた。

【0068】また、第1のファイバとしてカルコゲナイド光ファイバの代わりにテルライトガラス光ファイバ、Zr系フッ化物ガラス光ファイバ、In系ガラス光ファイ

バを用いても同様の接続特性を実現することができた。

【0069】(実施例9) 実施例6と同様にして、テルライトガラス光ファイバおよび石英系光ファイバを接続した。次いで、テルライトガラス光ファイバと石英系光ファイバの接続部に紫外線硬化型のエポキシ樹脂を塗布し、その後UVランプを用いて硬化させて、光ファイバ接続部に200 μ m厚のエポキシ樹脂層を形成した。これにより接続部が大気中の水分や機械的な応力に対し補強され、引っ張り強度が210MPaまで向上した。

【0070】第1のファイバとしてZr系フッ化物ガラス光ファイバ、In系フッ化物ガラス光ファイバ、カルコゲナイドガラス光ファイバを用いて接続した光ファイバについて、その接続部に上記と同様のエポキシ樹脂層を形成したところ、これらに対しても有効で、特にフッ化物ガラス光ファイバを用いた場合は、大気中の水分に対する接続部の強度劣化を抑制する効果を確認することができた。また、接続部に塗布される樹脂を紫外線硬化型のエポキシ樹脂の代わりに、紫外線硬化型のアクリル樹脂、シリコン樹脂やその他のいずれの高分子を用いても、接続部の補強ならびに水分に対する保護の効果を確認することができた。

【0071】(実施例10) 実施例9と同様の接続を行った。ただし、接続する光ファイバ接続端面の角度と同一の傾きを有し、かつ、その内径が光ファイバ径より大きいガラス管2本に第1のファイバおよび第2のファイバをそれぞれ通しておいてから接続し、接続後、ファイバの接続部を突き合わせ接着剤で固定した。次いで、接着剤で固定しなかったガラス管の他方の端面を接着剤でファイバに固定した。これにより、接続部がガラス管で覆われ外部から加わる衝撃に対し接続部を保護することができた。

【0072】第1のファイバとしてテルライトガラス光ファイバの代わりに他の非石英系ファイバを用いて接続しても同様に効果があった。

【0073】接続部を覆ったガラス管の代わりに、セラミックスあるいは金属等の材料の管を用いても、同様の効果を得ることができた。

【0074】実施例9で実施した樹脂被覆と本実施例の接続部保護部材を併用することにより、外部からの衝撃に加えて湿度に対する保護効果も得られる。

【0075】

【発明の効果】以上詳しく説明したように、本発明によれば、従来は困難であった異なるガラス材料からなる光ファイバの融着接続を実現することができる。その結果、接着剤を使用しない接続が実現できるため、信頼性の高いファイバ接続が達成でき、かつV溝組立や研磨などの工程を必要としないので、簡便で、かつ低損失な接続を実現することができる、という利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は光ファイバ接続界面が光軸と垂直となる接続の場合の入射光の伝搬状態を示す線図で、(b)は接続界面が光軸に対して傾いている場合の入射光の伝搬状態を示す線図で、(c)は本発明のスネルの法則を満たす接続の場合の入射光の伝搬状態を示す線図である。

【図2】本発明の接続装置の概念図である。

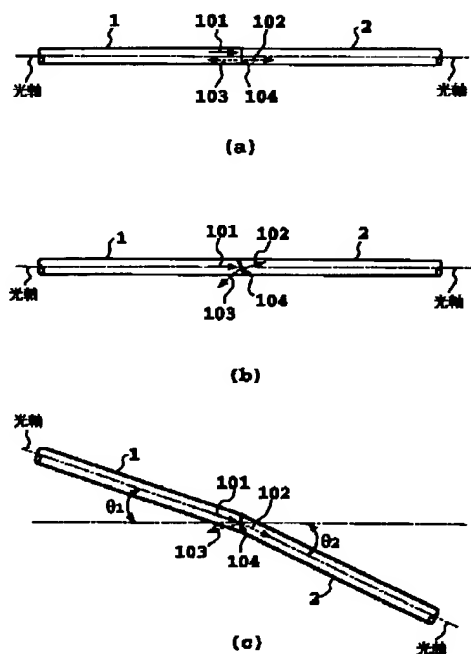
【図3】本発明のファイバ接続法の一態様を示す概念図である。

【図4】本発明のファイバ接続法の別の態様を示す概念図である。

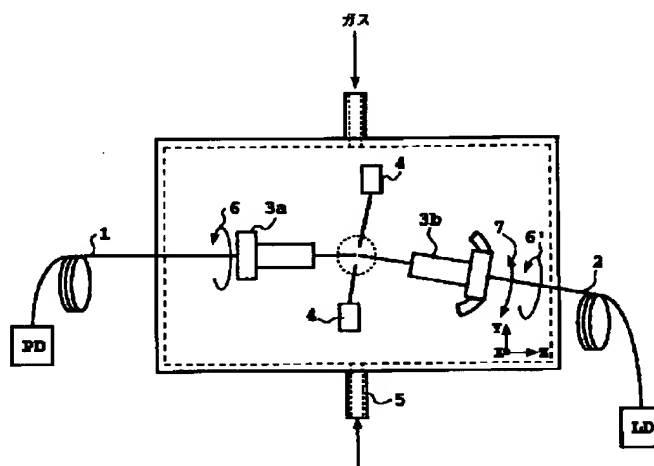
【符号の説明】

- 1 第1のファイバ
- 2 第2のファイバ
- 3a 第1のファイバホルダー
- 3b 第2のファイバホルダー
- 4 アーク放電用の電極
- 5 ガス導入口
- 101 入射光
- 102 透過光
- 103 反射戻り光
- 104 接続界面

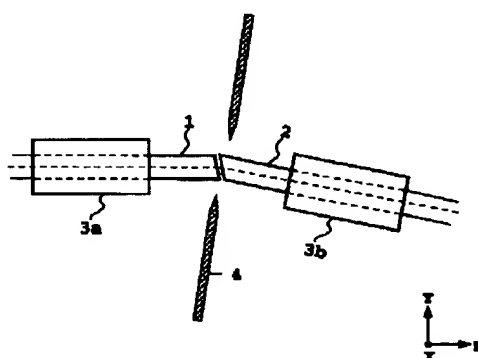
【図1】



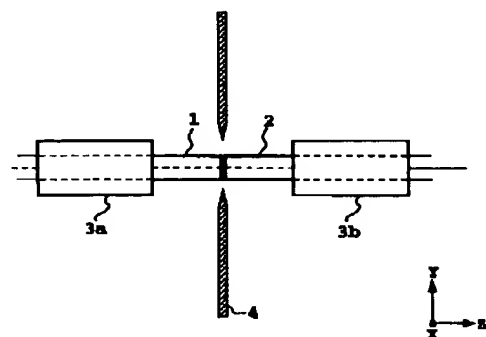
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 森 淳
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 小野 浩孝
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 島田 俊之
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 西田 好毅
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 大石 泰丈
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内